干旱区数字经济与农业绿色发展耦合协调研究
——以新疆为例

吉泽男， 付文婷， 王鹏程， 廖 升， 潘 铮

（塔里木大学经济与管理学院，新疆 阿拉尔 843300）

摘 要： 增强干旱地区数字经济与农业绿色发展的耦合协调度是促进农业高质量发展的必然要求。为探究干旱区数字经济与农业绿色发展的耦合协调情况，选取2011—2020年新疆区域面板数据，采用耦合协调模型测算新疆数字经济和农业绿色发展的耦合协调度，运用Kernel密度估计、标准差椭圆与Dagum基尼系数等方法对二者耦合协调度的时空演变进行分析。结果表明：（1）新疆数字经济呈现出“中心高、四周低”态势，农业绿色发展呈现“北高南低、东高西低”态势；2011—2020年新疆数字经济涨幅高达131.618%，农业绿色发展涨幅为33.922%。（2）新疆整体二者耦合协调度表现出随时间推移逐渐上升趋势，分区域增长幅度表现为：东疆>北疆>南疆；依据Kernel密度结果可知，无论是新疆整体还是三大区域都存在一定的极化效应特征；依据标准差椭圆可知，2011年至2015年，方位角上升1.747°，2015年至2020年方位角下降1.410°，数字经济和农业绿色发展的耦合协调度分布重心呈现出来回摆动的移动轨迹。（3）耦合协调度整体水平差异呈现出一定的收敛趋势，组间差异均值为0.403，组内差异均值为0.304。

关 键 词： 干旱地区；数字经济；农业绿色发展；耦合协调；区域差异；新疆

文章编号： 1000－6060(2024)11－1981－10(1981～1990)

伴随信息技术和互联网的发展，数字经济在农业绿色发展中的应用更加广泛，为农业生产智能化、精准化提供了强大的动力。2021年9月中共中央、国务院颁发了《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》，提出加快农业绿色发展，促进农业汇碳固碳能力提升，标志着我国农业绿色发展进入了新的历史阶段。新疆作为粮食与经济作物重要基地，同时是生态脆弱和干旱地区，其数字经济与农业绿色发展的耦合稳定至关重要。目前，数字经济与农业绿色发展融合不足，导致数字鸿沟以及资源分配不均，阻碍农业绿色发展，影响社会经济。因此，只有明确新疆数字经济与农业绿色发展的耦合协调关系，理清耦合差异的影响因素，促进新疆数字经济和农业绿色发展的融合，才能帮助农民和农业企业抓住市场机遇，推动农业产业的数字化转型和实现绿色可持续的农业现代化发展。

一方面数字经济促进农业绿色发展。首先，数字经济可降低信息不对称性而促进农业绿色发展。数字经济可通过各种数字技术丰富农户获取信息渠道，降低农户信息不对称性[1]。农户利用数字技术获取市场信息，洞悉绿色产品需求，优化种植环节，推行绿色技术。数字技术也可指导农户科学种植，统一化肥用量，推广绿色投入。数字经济促进知识共享，网络传播先进农技，提升农户效率[2]。其次，数字经济可优化资源配置促进农业绿色发展[3-4]。数字化生产要素的4大特性包括可复制、可再生、不消耗、共享性，使其能无限次低成本复制，打破了传统资源的限制。在农业数字化转型中，生产资料共享降低了能源消耗，优化了资源配置，促进了可持续

收稿日期： 2023-11-01； **修订日期：** 2024-03-29
基金项目： 国家社会科学基金重点项目(20AZD091)资助
作者简介： 吉泽男(1999-)，男，硕士研究生，主要从事农业与农村经济研究. E-mail: 13546493195@163.com
通讯作者： 王鹏程(1975-)，男，博士，教授，主要从事农业经济理论与政策、干旱区资源环境经济研究. E-mail: pengchengw@126.com

发展[5]。农户选择有机肥替代化肥，减少化肥消耗；农业机器人替代重型机械，减轻表土压实问题，防止土壤退化。这些举措共同推动了农业的绿色发展。此外，遥感技术也被用于探测农作物疾病，通过精准绘制作物疾病图谱，有效地减少了农作物的病虫害问题[6]，从而减少农药的施用量，促进农业绿色发展。最后，数字金融通过农业技术创新和资本深化，提高农业生产技术水平，促进农业全要素生产效率和农业绿色进程[7-10]。与此同时数字经济推动农村电商快速发展[11]，降低农业碳排放，促进产业融合与服务提升[5]，是农业绿色低碳发展的关键[12]。农业绿色发展需平衡经济效益与环境效益，关键在于合理配置生产要素[13]。电商应用让农户直接销售农产品给消费者，减少差价，提升流通效率，强化全程监管[14]，面对绿色需求增长和监管透明化，农户积极采用绿色生产方式。电商平台设绿色农产品专区，推动农业绿色可持续发展，为绿色发展注入新动力[15]。

另一方面农业绿色发展倒逼数字经济发展[16]。首先，农业绿色发展强化数字化需求，其转型需土地标准化、规模化、科技化、组织化与集约化，均离不开数字化支撑。当前，农业绿色发展呈多元化、综合化趋势，涵盖观光、生态、设施农业等领域，融合娱乐、养老、休闲功能。农业数字化建设加速，需求增长，数字化工具和平台提供技术支撑，助力农业高效、精准管理决策[17]。其次，农业绿色发展促进数字经济人才培养，人力资本是农业绿色发展的关键动力。目前，高素质农业人才供不应求，制约行业发展。在农业数字化中，他们发挥主体作用，推动行业进步。高素质人才的努力，引领农业绿色发展及数字经济人才培养新方向[18]。这类人才是农村合作社与农业加工企业的宝贵财富，他们能够因地制宜地提供最优方案，助力探索出适合本地区的智慧农业发展路径[19]。通过努力，他们善用数字技术，从而减少数字鸿沟对农业的制约，普及农业绿色发展理念。培养高素质农业人才，是提升农业竞争力、推动可持续发展的关键。这些人才精通技术、了解市场，能制定绿色发展规划，推动农业绿色转型，助力可持续发展。

基于此，本研究建立干旱地区新疆数字经济与农业绿色发展的耦合协调系统，通过实证分析二者耦合关系和动态演化趋势，为促进干旱区数字经济和农业绿色协同发展提供理论支撑。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

新疆(73°20′~96°25′E，34°15′~49°10′N)位于我国西北方向，“三山夹两盆”描述了新疆的总体地形，该地区拥有丰富的自然资源和独特的地理环境。新疆以棉花、小麦、玉米等农作物种植和畜牧业为主导产业。根据最新统计，新疆拥有耕地524.23×10^4 hm^2，占总面积的3.15%。主要灌溉方式为绿洲灌溉农业，而水资源短缺、生态环境脆弱等自然因素限制了农业的绿色发展。

1.2 数据来源与指标选取

1.2.1 数据来源 本研究考虑到数据的可得性，选取新疆除克拉玛依市以外的13个地州、市作为研究对象，数据来源于2011—2020年《新疆统计年鉴》《数字普惠金融指数》和政府工作报告，对于缺失值使用线性插值法进行补充。

1.2.2 评价指标体系构建 关于农业绿色发展，将其划分为环境友好、生态保护、资源节约与效益产出4个方面。关于数字经济，考虑到数据的可获取性，参考已有研究[20]，建立数字经济综合指标体系。各个指标具体如表1所示，使用熵值法进行测度。

1.3 研究方法

1.3.1 耦合协调模型 通过参考有关文献[21]，构建了耦合协调模型，计算公式为：

$$C=2\times\left[\frac{w(y)e(z)}{w(y)+e(z)}\right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$T=\partial w(y)+\beta e(z) \quad (2)$$

$$D=\sqrt{C\times T} \quad (3)$$

式中：C为数字经济与农业绿色发展系统耦合度；D为数字经济与农业绿色发展的耦合协调度；T为数字经济与农业绿色发展2个子系统的综合协调指数，反映出数字经济与农业绿色发展对协调度的贡献；$w(y)$、$e(z)$分别为数字经济指数、农业绿色发展指数；∂与β分别为2个子系统对社会发展影响程度的权重，设定各个子系统对社会发展影响程度的权重相等。

1.3.2 Kernel密度估计 本研究利用Kernel密度估计方法对新疆数字经济与农业绿色发展耦合协调进行分布态势分析。随机变量$x_1, x_2, \cdots, x_n$的核密度函数为：

$$f_h(x)=\frac{1}{nh}\sum_{i=1}^{n}K\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (4)$$

表1　新疆数字经济与农业绿色发展指标构建

Tab. 1　Construction of indicators for digital economy and green development of agriculture in Xinjiang

耦合子系统	指标维度	基础指标	基础指标计算方法	属性	指标权重
农业绿色发展	环境友好	化肥的使用强度	化肥施用量/农作物播种面积	负	0.069
		环境用水量占比	环境用水/总用水量	正	0.122
		农村用电强度	农村用电量/农村人口	负	0.065
	生态保护	造林总面积	直接获得	正	0.094
		水土流失治理面积	直接获得	正	0.152
		森林病虫害防治	病虫害防治面积/病虫害发生面积	正	0.074
	资源节约	节水灌溉比例	节水灌溉面积/农作物播种面积	正	0.073
		人力资本效率	农作物播种面积/农业从业人数	正	0.051
		土地复种指数	耕地面积/农作物播种面积	负	0.048
		农业机械利用效率	机械总动力/农作物播种面积	负	0.046
	效益产出	土地生产率	农林牧渔产值/农作物播种面积	正	0.079
		农业劳动生产率	农林牧渔产值/农业从业人数	正	0.061
		农民可支配收入	直接获得	正	0.089
数字经济		互联网普及率	每百人互联网用户数	正	0.203
		互联网相关从业人员数	计算机服务和软件从业人员占比	正	0.172
		互联网相关产出	人均电信业务总量	正	0.208
		移动互联网用户数	每百人移动电话用户数	正	0.211
		数字普惠金融发展	中国数字普惠金融指数	正	0.206

式中：n为观测数量；h为带宽；K为加权函数；$x-x_i$为x与x_i之间的距离。

1.3.3　标准差椭圆　标准差椭圆是一种统计技术，通过计算标准差和协方差来估算数据分布。它描述耦合协调度地理要素分布特征，适用于空间数据比较与统计分析。优点在于直观、灵活和广泛应用，但需注意数据质量和解释性限制。本研究采用此方法，可清晰观察耦合协调度分布重心移动及空间要素变化趋势。根据测算出的耦合协调度，计算新疆数字经济与农业绿色发展耦合协调度的重心$\left(P_{\mathrm{w}}, Q_{\mathrm{w}}\right)$来反映其空间格局变化，计算公式如下：

$$P_{\mathrm{w}}=\frac{\sum_{i=1}^{a} w_i p_i}{\sum_{i=1}^{a} w_i} \tag{5}$$

$$Q_{\mathrm{w}}=\frac{\sum_{i=1}^{a} w_i q_i}{\sum_{i=1}^{a} w_i} \tag{6}$$

式中：$\left(p_i, q_i\right)$为第i个研究对象的空间位置；a为研究对象的数量；w_i为权重。

1.3.4　Dagum基尼系数　Dagum基尼系数扩展了传统基尼系数，解决了其无法涵盖数据交叉重叠的局限，能识别差异来源，结果直观易懂，目前广泛应用于经济学领域，但也存在数据收集成本高、计算复杂等不足。本研究综合考虑后采用该方法，可清晰观察三大区域之间及其内部差异。参考已有文献[22]，运用Dagum基尼系数（G）展开研究，具体公式如下：

$$G=\frac{\sum_{j=1}^{k}\sum_{h=1}^{k}\sum_{i=1}^{n_j}\sum_{r=1}^{n_h}\left|y_{ji}-y_{hr}\right|}{2n^2\bar{y}} \tag{7}$$

$$G=G_{\mathrm{w}}+G_{\mathrm{b}}+G_{\mathrm{t}} \tag{8}$$

式中：y_{ji}与y_{hr}分别为j与h区域内i与r地州、市的数字经济与农业绿色发展耦合协调度综合得分；$\bar{y}$为耦合协调度综合得分的平均值；n为地州、市的个数；k为区域个数；n_j与n_h分别为j与h区域内地州、市的个数。同时，将新疆基尼系数作为整体，更细化分为组间差异（G_{b}）、组内差异（G_{w}）和超变密度（G_{t}）。

2　结果与分析

2.1　新疆数字经济与农业绿色发展时空特征分析

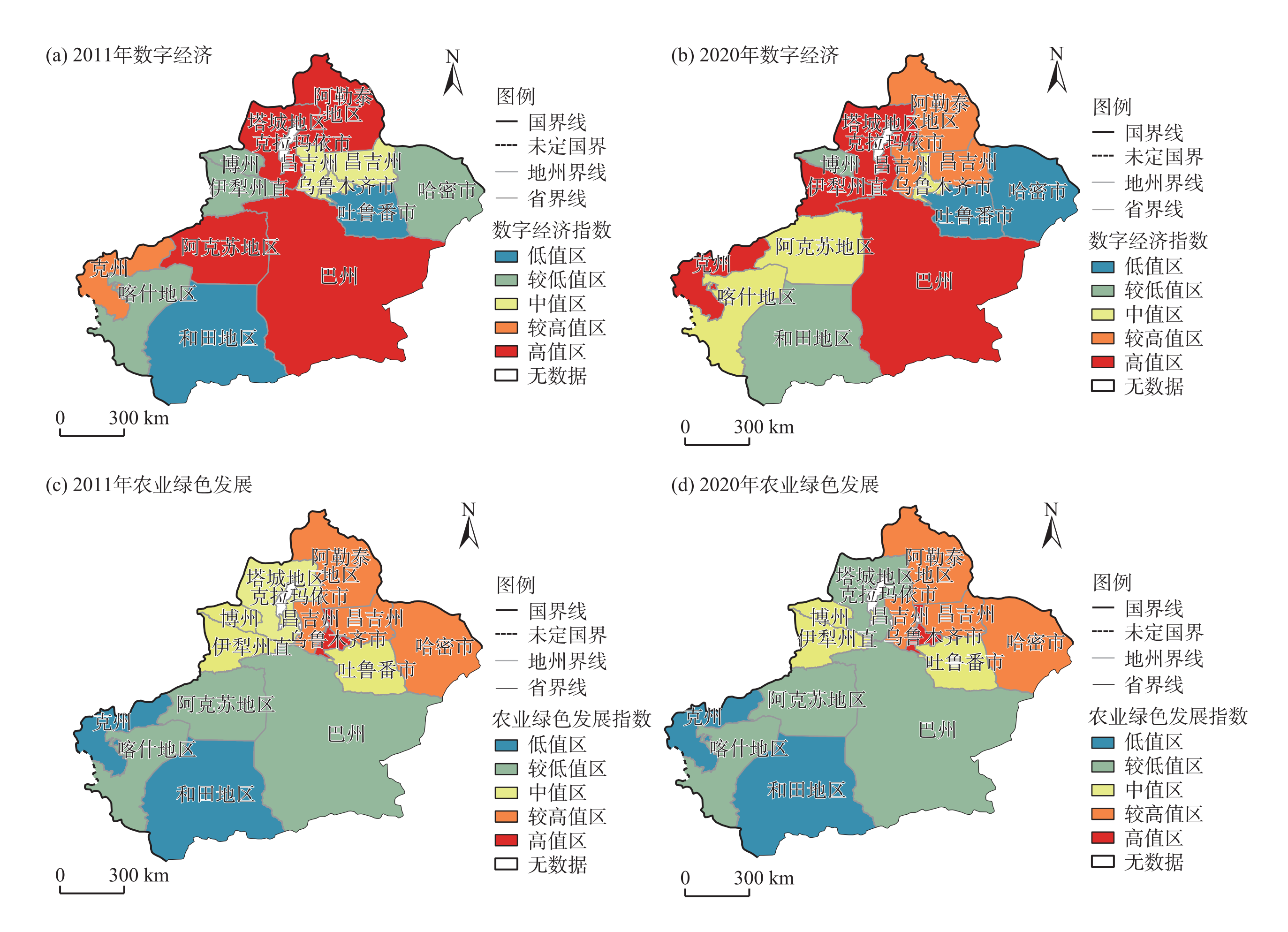
本研究使用熵值法对新疆数字经济与农业绿色发展进行测度，结果如表2所示，使用ArcGIS 10.6软件，基于自然断点法把数字经济与农业绿色发展划分为5个级别，依次为：低值区、较低值区、中值区、较高值区与高值区，结果如图1所示。

表2 新疆数字经济与农业绿色发展指数

Tab. 2 Digital economy and green development of agriculture indices in Xinjiang

地区	2011年		2014年		2017年		2020年	
	数字经济指数	农业绿色发展指数	数字经济指数	农业绿色发展指数	数字经济指数	农业绿色发展指数	数字经济指数	农业绿色发展指数
新疆	0.272	0.283	0.419	0.280	0.474	0.345	0.630	0.379
乌鲁木齐市	0.286	0.271	0.328	0.293	0.467	0.424	0.536	0.492
吐鲁番市	0.026	0.270	0.594	0.255	0.823	0.333	0.354	0.393
哈密市	0.195	0.324	0.337	0.307	0.289	0.314	0.383	0.418
昌吉州	0.281	0.372	0.131	0.340	0.692	0.457	0.686	0.420
博州	0.229	0.280	0.148	0.270	0.538	0.305	0.414	0.394
巴州	0.417	0.331	0.661	0.294	0.259	0.408	0.827	0.358
阿克苏地区	0.408	0.274	0.546	0.268	0.257	0.328	0.580	0.363
克州	0.349	0.197	0.586	0.206	0.546	0.241	0.892	0.289
喀什地区	0.175	0.230	0.580	0.200	0.334	0.268	0.553	0.338
和田地区	0.086	0.246	0.170	0.267	0.492	0.392	0.445	0.308
伊犁州直	0.190	0.294	0.538	0.318	0.606	0.359	0.834	0.401
塔城地区	0.404	0.271	0.524	0.290	0.232	0.291	0.946	0.338
阿勒泰地区	0.495	0.320	0.298	0.338	0.631	0.364	0.739	0.410

注:昌吉州、伊犁州直、博州、巴州和克州分别为昌吉回族自治州、伊犁哈萨克自治州直属县市、博尔塔拉蒙古自治州、巴音郭楞蒙古自治州、克孜勒苏柯尔克孜自治州的简称。下同。



注:基于自然资源部标准地图服务网站审图号为GS(2019)1822号的标准地图制作,底图边界无修改。下同。

图1 新疆数字经济与农业绿色发展指数空间演变格局

Fig. 1 Spatial evolution pattern of digital economy and green development of agriculture indices in Xinjiang

2.1.1 数字经济 新疆数字经济指数从2011年的0.272显著增长至2020年的0.630，涨幅高达131.618%。各地州、市的数字经济指数也普遍上升，但区域间发展差异日益显著，极差呈扩大趋势。等级变化上，较低值区以下的数量减少，从2011年的6个降至2020年的4个，表明整体发展指数明显上升。空间演化上，新疆数字经济空间差异显著，高指数地区主要集中在中部，显示较强的空间集聚特征。这可能与中部地区完善的交通、基础设施及人才储备有关，为数字经济发展提供了坚实基础。

2.1.2 农业绿色发展 新疆农业绿色发展指数由2011年的0.283上升至2020年的0.379，上涨幅度为33.922%，说明新疆农业绿色发展总体上也呈现出上涨趋势，但上涨幅度远远低于数字经济上涨幅度，农业绿色发展的重视程度存在严重不足。从空间视角来看，农业绿色发展指数较高地区呈现出由东向西逐级下降趋势。这可能与新疆的地理特点有关，作为干旱、半干旱地区，降水集中在天山山脉一带。东部地区因面临降水量相对匮乏的自然条件，致使该地区对水资源的高效利用给予了高度重视，进而驱动了相关节水技术的持续升级与优化，为农业的绿色发展提供了有力支撑。相比之下，西部地区得益于较为丰富的降水量，对节水技术的研发与应用缺乏足够的重视，这一状况在一定程度上限制了该地区农业绿色发展的潜力与进程。

2.2 新疆数字经济与农业绿色发展耦合协调度测算

2.2.1 时空演变趋势 本研究使用2011—2020年新疆13个地州、市的数字经济与农业绿色发展的数据，通过耦合模型计算出二者之间的耦合协调度，并将新疆划分为北疆、南疆、东疆三大区域，具体结果如表3与图2所示。

时间上，2011—2020年新疆的总体耦合协调度

表3 新疆数字经济与农业绿色发展耦合协调度

Tab. 3 Coupling coordination degree of digital economy and green development of agriculture in Xinjiang

地区	城市	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年
新疆		0.509	0.502	0.550	0.569	0.562	0.586	0.625	0.638	0.659	0.690
北疆	乌鲁木齐市	0.528	0.537	0.593	0.557	0.533	0.597	0.667	0.527	0.725	0.716
	昌吉州	0.568	0.542	0.461	0.459	0.703	0.590	0.750	0.713	0.815	0.733
	博州	0.503	0.395	0.612	0.447	0.573	0.657	0.636	0.555	0.671	0.635
	伊犁州直	0.486	0.617	0.592	0.643	0.607	0.604	0.683	0.537	0.722	0.760
	塔城地区	0.575	0.609	0.571	0.624	0.474	0.574	0.510	0.633	0.656	0.752
	阿勒泰地区	0.631	0.342	0.679	0.563	0.498	0.740	0.692	0.586	0.709	0.742
	均值	0.549	0.507	0.585	0.549	0.565	0.627	0.656	0.592	0.716	0.723
南疆	巴州	0.610	0.603	0.597	0.664	0.522	0.654	0.570	0.660	0.580	0.738
	阿克苏地区	0.578	0.505	0.403	0.618	0.611	0.602	0.539	0.690	0.596	0.677
	克州	0.512	0.518	0.579	0.590	0.532	0.406	0.602	0.670	0.615	0.712
	喀什地区	0.448	0.508	0.551	0.584	0.545	0.532	0.547	0.625	0.642	0.658
	和田地区	0.381	0.520	0.537	0.461	0.527	0.577	0.663	0.687	0.520	0.608
	均值	0.506	0.531	0.533	0.583	0.547	0.554	0.584	0.667	0.591	0.679
东疆	吐鲁番市	0.291	0.325	0.561	0.624	0.614	0.454	0.723	0.706	0.683	0.611
	哈密市	0.501	0.504	0.406	0.567	0.567	0.627	0.549	0.707	0.631	0.633
	均值	0.396	0.415	0.484	0.595	0.591	0.541	0.636	0.707	0.657	0.622

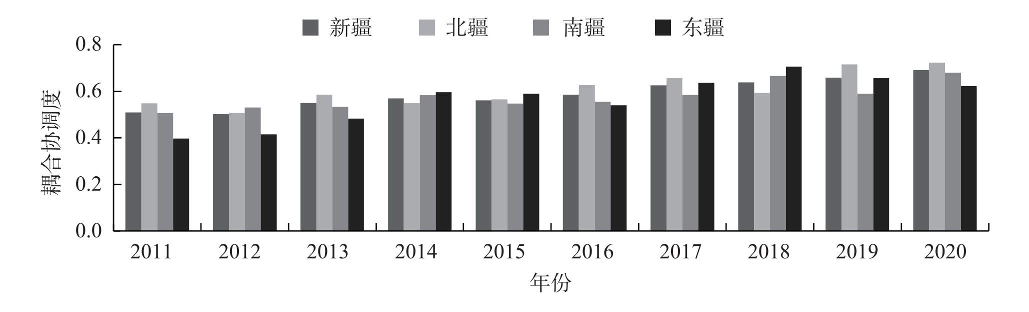


图2 新疆及三大区域耦合协调度变化趋势

Fig. 2 Change trends of coupling coordination degree in Xinjiang and its three regions

展现出了明显的波动上升趋势。数字经济与农业绿色发展耦合协调度指数从2011年的0.509稳步提升至2020年的0.690,这一变化反映了新疆在数字经济与农业绿色发展方面的协同性不断增强。然而,值得关注的是,2012年和2015年新疆的耦合协调度出现了短暂的衰退趋势,尽管下降幅度并不大,但深入研究后发现,2012年的衰退趋势主要源于北疆地区的耦合协调度下降,2015年衰退趋势主要源于南疆地区的耦合协调度下降。

空间上,在比较三大区域的增长幅度时,可以发现2011—2020年东疆数字经济与农业绿色发展的耦合协调度增长幅度最大,增加了0.226,其耦合协调度的变化对新疆整体产生了显著影响。与此同时,南疆和北疆两大区域的耦合协调度也呈现出显著的变化态势,北疆地区的增长幅度处于中等水平,增加了0.174,南疆的耦合协调度变化程度相对较低,增加了0.173。整体上,这三大区域的耦合协调度都保持上升的趋势。东疆增长幅度远高于其他2个区域的原因可能为东疆地区数字经济与农业绿色发展耦合协调度在研究期前期基础较差,因此东疆数字经济与农业绿色发展耦合协调度的上升空间较大。

2.2.2 Kernel密度估计结果 为更加直观展现新疆整体以及三大区域的数字经济与农业绿色发展耦合协调度的发展水平,本研究借助Matlab R2022a软件对2011—2020年二者耦合协调度进行Kernel密度分析,以此来展示新疆整体以及三大区域二者耦合协调度的时间演进特征,结果如图3所示。

从新疆整体看,Kernel密度分布中心向右移动,反映了新疆数字经济与农业绿色发展之间的耦合协调程度呈现上升态势。二者的耦合协调度不仅波峰逐渐攀升,而且整体宽度也在不断扩大,表明发展差异正逐渐凸显。2011—2020年展现出明显"多峰"形态,尽管侧峰弱于主峰,但揭示了二者耦合协调度之间存在着一定的极化效应特征。这一现象说明部分地区虽然数字经济与农业绿色发展在稳步提升,但二者之间的协调发展并不均衡。

就区域而言,北疆、东疆、南疆这三大区域的Kernel密度曲线中心位置均展现出向右移动的趋势,表明了各区域的数字经济与农业绿色发展之间的耦合协调程度正在稳步提升,这与新疆整体的发展态势是高度一致的。深入观察各区域的波峰变化趋势时,可以发现2011—2020年北疆、东疆、南疆地区均呈现出了明显的多峰状态。这说明三大区域的耦合协调度在曲折中前进,更揭示了三大区域在发展过程中存在的显著差异。

2.2.3 二者耦合协调度重心迁移及方向演变 为分析新疆13个地州、市数字经济与农业绿色发展的耦合协调度演化趋势及空间演变格局,本研究使用

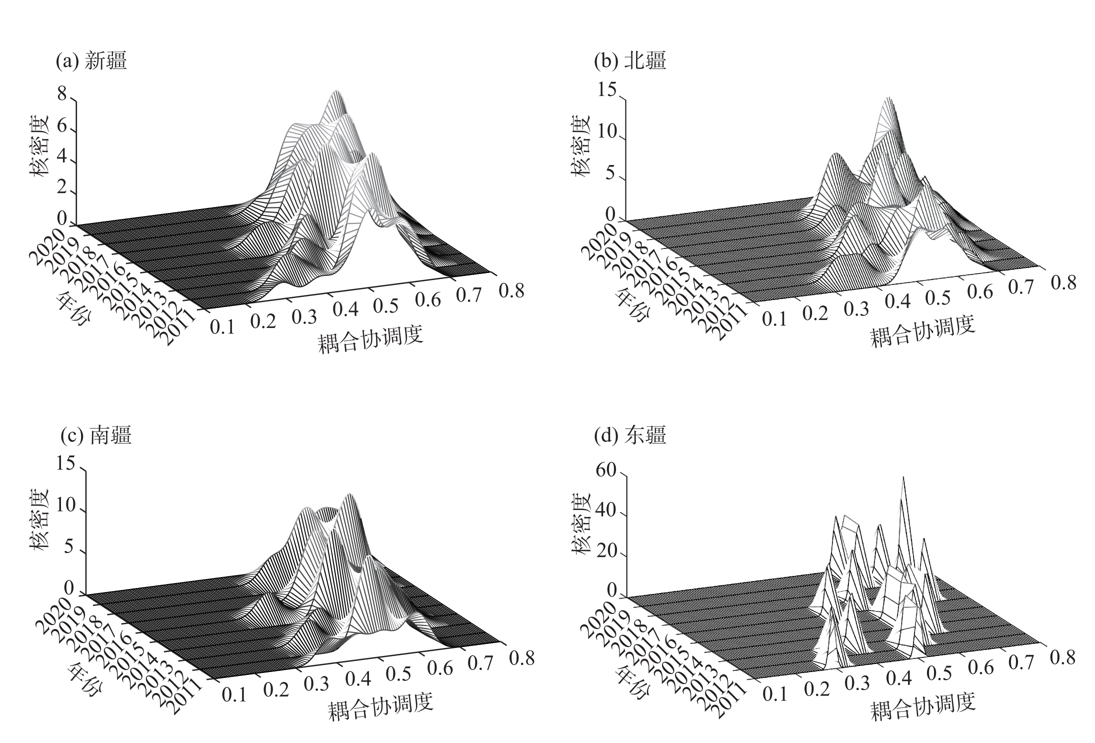


图3 新疆及三大区域耦合协调度Kernel密度分布

Fig. 3 Kernel density distributions of coupling coordination degree in Xinjiang and its three regions

ArcMAP绘制出2011、2015年和2020年数字经济与农业绿色发展的耦合协调度的重心分布、标准差椭圆与参数，具体结果如图4与表4所示。

2011—2020年数字经济与农业绿色发展耦合协调度的重心位于新疆巴音郭楞蒙古自治州西北方向，其重心由北向南再折返北方，展示了二者耦合协调度的动态变化。同时，耦合协调度的标准差椭圆面积呈现先减后增的态势，反映了其空间分布的波动变化。具体来说，标准差椭圆面积从2011年的687470.056 km^2逐渐缩减至2015年的677500.769 km^2，又逐步扩张至2020年的688257.246 km^2，反映了耦合协调度在空间分布上的复杂性和动态性。进一步观察标准差椭圆的长半轴和短半轴变化，发现长半轴呈现出先增加后减少的趋势，但总体上仍略有增长；而短半轴则先降低后增加，整体上略有减少。这种变化，既体现了耦合协调度在空间分布上的不均衡性，也揭示了其在不同方向上的发展差异。最后，从方位角的变化来看，2011—2020年，二者耦合协调度的方位角表现出先上升后下降的趋势，总体上略有增长，呈现出一种波动增长的模式。具体来说，从2011年到2015年，方位角上升了1.747°，而在2015年至2020年期间，又下降了1.410°。这种方位角的变化，不仅反映了耦合协调度在空间分布上的旋转趋势，也暗示了新疆数字经济与农业绿色发展之间在相对水平上的动态变化关系。

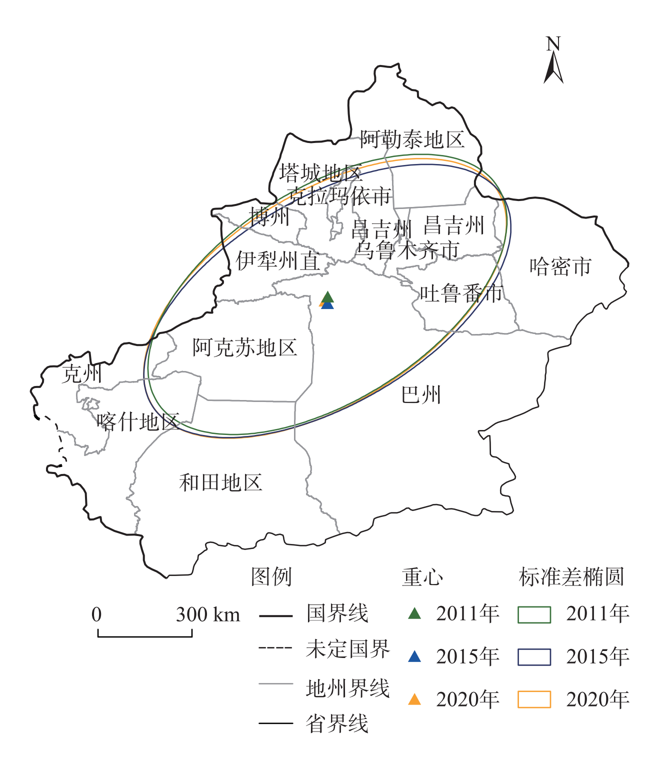


图4　2011、2015年和2020年新疆数字经济与农业绿色发展耦合协调度的标准差椭圆及重心

Fig. 4　Standard deviation ellipse and centre of gravity of coupled coordination degree of digital economy and green development of agriculture in Xinjiang in 2011, 2015 and 2020

表4　2011、2015年和2020年新疆数字经济与农业绿色发展耦合协调度的标准差椭圆参数

Tab. 4　Standard deviation elliptic parameters of coupled coordination of digital economy and green development of agriculture in Xinjiang in 2011, 2015 and 2020

年份	面积/km^2	长半轴/km	短半轴/km	方位角/(°)
2011	687470.056	643.791	339.935	57.709
2015	677500.769	652.642	330.464	59.456
2020	688257.246	650.021	337.063	58.046

2.2.4　二者耦合协调度区域差异及来源分析　新疆数字经济与农业绿色发展耦合协调度的Dagum基尼系数与分解的具体结果由表5所示。2011—2020年数字经济与农业绿色发展耦合协调度差异整体上表现出波动下降的趋势，平均值从2011年的0.096降低到2020年的0.044，表明13地州、市的耦合协调度之间差异越来越小。同时，东疆、南疆与北疆的组间差异表现出稳步下降的态势，说明新疆13地州、市在同一研究期内的二者耦合协调度存在同步发展。具体来说，不同区域的组间基尼系数的值由2011年的0.049下降至0.027，北疆与南疆的差异最小，均值为0.063；其次为南疆与东疆，均值为0.087，北疆与东疆的差异最大，均值为0.094。不同区域的组内基尼系数却表现出曲折发展态势，波动幅度较大，其中东疆的内部差异最大，均值为0.065；其次为南疆的内部差异，均值是0.063，北疆的均值为0.035，内部差异最小。

新疆数字经济与农业绿色发展耦合协调度基尼系数每个分解部分的贡献率如图5所示。2011—2020年，不同区域组间贡献率最大，均值为0.403，组内差异贡献率次之，均值保持在0.304左右，比较稳定；超变密度的贡献率最低均值为0.223，组间差异与组内差异是新疆数字经济与农业绿色发展耦合协调度差异的主要来源，二者贡献率均值之和在80%以上。组间差异对二者耦合协调度产生地区差异的贡献率变化幅度较大，组内贡献率相对稳定，超变密度贡献率最小。造成以上结果的主要原因为三大区域的自然环境、土壤质量、农业基础设施与农业

表5 新疆数字经济与农业绿色发展耦合协调度的Dagum基尼系数及分解

Tab. 5 Dagum's Gini coefficient and decomposition of coupled coordination degree of digital economy and green development of agriculture in Xinjiang

年份	总体基尼系数	组间差异	组间基尼系数			组内差异	组内基尼系数			超变密度
			北疆与南疆	北疆与东疆	南疆与东疆		北疆	南疆	东疆	
2011	0.096	0.049	0.082	0.164	0.160	0.028	0.050	0.093	0.133	0.020
2012	0.097	0.035	0.089	0.123	0.149	0.031	0.031	0.111	0.108	0.031
2013	0.075	0.035	0.074	0.110	0.087	0.058	0.058	0.064	0.080	0.016
2014	0.067	0.018	0.049	0.063	0.075	0.024	0.024	0.060	0.075	0.024
2015	0.056	0.013	0.062	0.046	0.060	0.020	0.020	0.074	0.029	0.022
2016	0.075	0.034	0.078	0.094	0.093	0.046	0.046	0.082	0.080	0.018
2017	0.068	0.028	0.076	0.080	0.073	0.059	0.059	0.069	0.041	0.020
2018	0.056	0.037	0.029	0.090	0.072	0.000	0.000	0.019	0.059	0.005
2019	0.061	0.046	0.048	0.096	0.055	0.038	0.038	0.020	0.038	0.001
2020	0.044	0.027	0.045	0.075	0.048	0.028	0.028	0.037	0.009	0.005

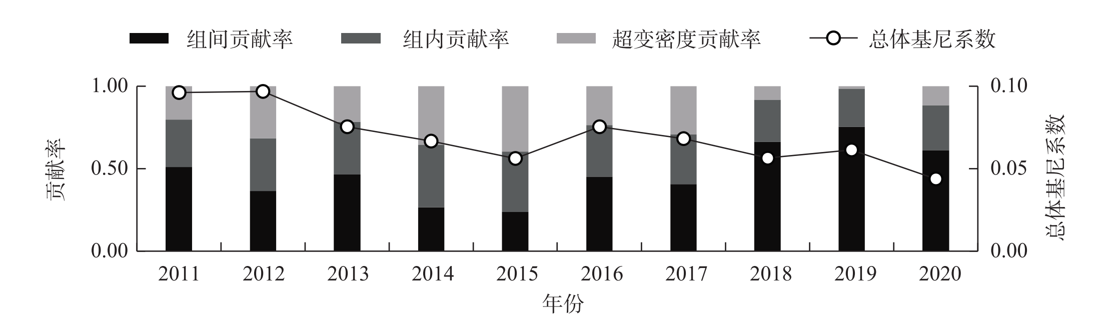


图5 新疆数字经济与农业绿色发展耦合协调度的区域差异及来源

Fig. 5 Regional differences and sources of harmonisation of the coupling of digital economy and green development of agriculture in Xinjiang

技术创新力度等方面存在异质性，最终导致新疆数字经济与农业绿色发展耦合协调度有所不同。

3 讨论

本研究不同于以往学者仅关注数字经济对农业绿色发展产生的影响，而是聚焦于数字经济与农业绿色发展之间的相互作用，且首次关注干旱地区二者耦合协调度发展状况，新疆作为干旱区的代表，水资源的短缺和环境脆弱性使得农业绿色发展尤为重要。通过研究二者之间的耦合协调度，可识别出制约二者协同发展的关键因素，从而制定出针对性的政策措施，促进数字经济与农业绿色发展的深度融合，有助于政府和相关机构加强该地区数字经济建设与农业绿色发展程度而制定更为精准和有效的政策。研究发现新疆数字经济与农业绿色发展的耦合协调程度整体稳步提升，但并未达到最优耦合状态，这与费威等[16]的研究结果一致，但其增长过程却与本研究存在差异，费威等的研究结果表明二者的耦合协调度经历“缩小-平稳-增大”的过程，而本研究新疆的数字经济与农业绿色发展耦合协调度整体呈现出缓慢上升趋势。出现差异的可能原因是研究区域不同导致，费威等基于全国层面展开研究，而本研究选取的新疆范围数据，数据与地域之间的差异可能会导致结果存在差异。

4 结论

(1) 从新疆数字经济与农业绿色发展空间分布来看，数字经济表现出由“中心向四周发散”的发展态势，农业绿色发展呈现“北高南低、东高西低”态势，表现出较为明显的极化现象。从时间层面来看，2011—2020年数字经济与农业绿色发展都表现出上升趋势，但农业绿色发展增长幅度小于数字经济增长幅度。

(2) 新疆数字经济与农业绿色发展耦合协调度

也表现出随时间推移逐渐上升趋势，分区域来看，三大区域二者耦合协调度与新疆整体发展态势保持一致，但是东疆数字经济与农业绿色发展耦合协调度增长幅度最大，其次为北疆，最后为南疆。二者耦合协调度分布重心呈现出南北来回折返的移动轨迹。

（3）新疆数字经济与农业绿色发展耦合协调度之间的差距呈现出一定的收敛趋势，2011—2020年组间差异贡献率对二者耦合协调度差异的贡献率最大，是新疆数字经济与农业绿色发展耦合协调度差异的主要来源，其次是组内差异，最后为超变密度。

参考文献（References）

[1] Ji X, Xu J W, Zhang H X. Environmental effects of rural e-commerce: A case study of chemical fertilizer reduction in China[J]. Journal of Environmental Management, 2022, 326: 116713, doi: 10.1016/j.jenvman.2022.116713.

[2] 黄晓慧, 聂凤英. 数字化驱动农户农业绿色低碳转型的机制研究[J]. 西北农林科技大学学报(社会科学版), 2023, 23(1): 30-37. [Huang Xiaohui, Nie Fengying. Research on the mechanism of digitalization driving farmers' agriculture green and low-carbon transformation[J]. Journal of Northwest A & F University (Social Science Edition), 2023, 23(1): 30-37.]

[3] 潘彪, 黄征学. 数字经济概念演变、内涵辨析与规模测度[J]. 中国经贸导刊, 2022(5): 52-55. [Pan Biao, Huang Zhengxue. Evolution, connotation differentiation and scale measurement of digital economy[J]. China Economic & Trade Herald, 2022(5): 52-55.]

[4] 宁朝山. 数字经济、要素市场化与经济高质量发展[J]. 长白学刊, 2021(1): 114-120. [Ning Chaoshan. Digital economy, factor marketization and high-quality development of economy[J]. Changbai Journal, 2021(1): 114-120.]

[5] 张芬芬, 邓博华. 数字经济赋能乡村振兴的影响机制与空间效应[J]. 金融与经济, 2023(3): 65-76. [Zhang Fenfen, Deng Bohua. The influence mechanism and spatial effect of digital economy enabling rural revitalization[J]. Finance and Economics, 2023(3): 65-76.]

[6] Jiang S, Zhou J, Qiu S. Digital agriculture and urbanization: Mechanism and empirical research[J]. Technological Forecasting Social Change, 2022, 180: 121724, doi: 10.1016/j.techfore.2022.121724.

[7] 赵锦春. 数字普惠金融能否提升农业全要素生产率? ——基于跨国面板数据的经验证据[J]. 现代经济探讨, 2024(3): 109-121. [Zhao Jinchun. Can digital inclusive finance improve agricultural total factor productivity?[J]. Modern Economic Research, 2024(3): 109-121.]

[8] 王朝辉. 粮食作物养分管理与农业绿色发展[J]. 中国农业科学, 2018, 51(14): 2719-2721. [Wang Zhaohui. Nutrient management of grain crops and green agricultural development[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2018, 51(14): 2719-2721.]

[9] 孙炜琳, 王瑞波, 姜茜, 等. 农业绿色发展的内涵与评价研究[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(4): 14-21. [Sun Weilin, Wang Ruibo, Jiang Qian, et al. Study on connotation and evaluation of the agricultural green development[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2019, 40(4): 14-21.]

[10] 李浩, 栾江. 农业绿色发展背景下社会资本对农户环境行为的影响研究——以化肥减量化使用为例[J]. 农业经济, 2020(1): 114-117. [Li Hao, Luan Jiang. Research on the influence of social capital on farmers' environmental behavior in the background of green agricultural development: Take the reduced use of chemical fertilizer as an example[J]. Agricultural Economy, 2020(1): 114-117.]

[11] 尹健. 黄河流域数字普惠金融与农业绿色发展的耦合关联研究[J]. 价格理论与实践, 2023(6): 184-187, 212. [Yin Jian. Study on the coupling relationship between digital inclusive finance and agricultural green development in the Yellow River Basin[J]. Price: Theory & Practice, 2023(6): 184-187, 212.]

[12] 申云, 洪程程. 数字普惠金融与农业绿色低碳发展: 水平测度和机制检验[J]. 金融理论与实践, 2023(1): 45-60. [Shen Yun, Hong Chengcheng. Digital inclusive finance and green and low carbon development of agriculture: Level measurement and mechanism test[J]. Financial Theory & Practice, 2023(1): 45-60.]

[13] 张腾, 蒋伏心, 韦朕韬. 数字经济能否成为促进我国经济高质量发展的新动能?[J]. 经济问题探索, 2021(1): 25-39. [Zhang Teng, Jiang Fuxin, Wei Zhentao. Can digital economy become a new driving force for China's high-quality economic development?[J]. Inquiry into Economic Issues, 2021(1): 25-39.]

[14] 柯雨欣, 王之禹. 数字技术赋能农业高质量发展的理论逻辑与未来展望—— 以东北三省为例[J]. 价格理论与实践, 2022(5): 194-196, 208. [Ke Yuxin, Wang Zhiyu. Theoretical logic and future prospects of digital technology enabling high-quality agricultural development: Taking the three provinces of northeast China as examples[J]. Price: Theory & Practice, 2022(5): 194-196, 208.]

[15] 丁荣荣. 绿色电子商务在农业生态环境经济持续健康发展中的作用研究[J]. 环境工程, 2022, 41(8): 344. [Ding Rongrong. Study on the role of green e-commerce in the sustainable and healthy development of agroecosystem economy[J]. Environmental Engineering, 2022, 41(8): 344.]

[16] 费威, 安芷萱. 农村数字经济与农业绿色发展的耦合协调研究[J]. 农林经济管理学报, 2024, 23(3): 317-325. [Fei Wei, An Zhixuan. Research on the coupling coordination between rural digital economy and green development of agriculture[J]. Journal of Agro-Forestry Economics and Management, 2024, 23(3): 317-325.]

[17] 洪帅, 王天尊, 符晓艺. 中国智慧农业研究演进脉络梳理及前沿趋势分析[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(4): 28-38. [Hong Shuai, Wang Tianzun, Fu Xiaoyi. Study on evolution context combing and frontier trends of intelligent agriculture research in China[J].

Jiangsu Agricultural Sciences, 2023, 51(4): 28-38.]
[18] 叶春燕, 宋林佳. 农村科技人力资源的开发模式调整与优化[J]. 农业经济, 2021(1): 118-119. [Ye Chunyan, Song Linjia. Adjustment and optimisation of the development model of rural scientific and technological human resources[J]. Agricultural Economy, 2021 (1): 118-119.]
[19] 刘美霞. 中国农业科技人力资源的开发与管理探究——评《中国农业科技人力资源研究》[J]. 中国瓜菜, 2022, 35(4): 118. [Liu Meixia. An exploration of the development and management of human resources in agricultural science and technology in China: A review of the study of human resources in agricultural science and technology in China[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2022, 35 (4): 118.]
[20] 赵涛, 张智, 梁上坤. 数字经济、创业活跃度与高质量发展——来自中国城市的经验证据[J]. 管理世界, 2020, 36(10): 65-76. [Zhao Tao, Zhang Zhi, Liang Shangkun. Digital economy, entrepreneurship, and high-quality economic development: Empirical evidence from urban China[J]. Journal of Management World, 2020, 36(10): 65-76.]
[21] 李鸿飞, 何颖茹, 毕晓莉. 黄河流域兰州段生态环境与高质量发展耦合协调关系研究[J]. 干旱区地理, 2022, 45(4): 1244-1253. [Li Hongfei, He Yingru, Bi Xiaoli. Coupling coordination relationship between ecological environment and high-quality development in Lanzhou section of Yellow River Basin[J]. Arid Land Geography, 2022, 45(4): 1244-1253.]
[22] 李玲蔚, 白永平, 杨雪荻, 等. 黄河几字湾地区可持续发展的动态演变及区域差异[J]. 干旱区地理, 2022, 45(2): 639-649. [Li Lingwei, Bai Yongping, Yang Xuedi, et al. Dynamic evolution and regional differences of sustainable development in Jiziwan of the Yellow River[J]. Arid Land Geography, 2022, 45(2): 639-649.]

Coupling and coordination of digital economy and green development of agriculture in arid zones: A case of Xinjiang

JI Zenan, FU Wenting, WANG Pengcheng, LIAO Sheng, PAN Zheng
(College of Economics and Management, Tarim University, Aral 843300, Xinjiang, China)

Abstract: Enhancing the coupling and coordination between the digital economy and green development of agriculture in arid areas is essential for promoting high-quality agricultural growth. This study explores the coupling and coordination between the digital economy and green development of agriculture in Xinjiang, China, using panel data from 2011 to 2020. A coupling and coordination model was employed to quantify the interactions between the digital economy and green development of agriculture. Methods including Kernel density estimation, standard deviation ellipse, and the Dagum Gini coefficient were utilized to analyze the spatiotemporal evolution of the coupling and coordination degree. The results indicate that: (1) Xinjiang's digital economy exhibits a "high in the center, low in the surrounding areas" pattern, while green development of agriculture shows a "high north, low south, high east, low west" distribution. Between 2011 and 2020, the growth rate of the digital economy in Xinjiang reached 131.618%, whereas the green development of agriculture increased by 33.922%. (2) The overall degree of coupling coordination in Xinjiang shows a gradual upward trend, with the growth rate of sub-regions ranked as follows: east Xinjiang>north Xinjiang>south Xinjiang. The Kernel density results suggest a polarization effect in both Xinjiang as a whole and within its three major regions. Analysis using the standard deviation ellipse reveals that the azimuthal angle rose by 1.747° from 2011 to 2015, and fell by 1.410° from 2015 to 2020, indicating a back-and-forth oscillation in the center of gravity for the distribution of the digital economy and green development of agriculture. (3) The overall level difference in coupling coordination shows a convergence trend, with an average inter-group difference of 0.403 and an intra-group difference of 0.304.

Key words: arid zones; digital economy; green development of agriculture; coupling and coordination; regional differences; Xinjiang